Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 30, No. 1 pp.1-8, February 2011 DOI:10.5143/JESK.2011.30.1.1

인적 오류 연구의 동향과 과제: 어떻게 하고 있으며, 무엇이 필요한가?

이 용 희

계측제어 · 인간공학연구부, 한국원자력연구원

A State-of-the-Art Report on the Current Human Error Studies: *What and How to Cope with*

Yong Hee Lee

I&C and Human Factors Research Division, Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon, 302-353

ABSTRACT

While human error has been one of the main technical issues from the early era of human factors engineering, it still remains hot and somewhat vague due to the various types of the concepts and words on human errors in practice. There may be some technical limitations hindering human error prevention activities. This paper introduces the human error activities described in the papers if this issue of ESK Journal according to a few criteria proposed for more effective technical review. And two basic technical issues are discussed on the concepts, perspectives, and classifications about human errors. Each activity shows its own artifacts associated with the safety purpose and the nature of the industry. This paper also provides a set of new technical bases proposed for a more effective management of human errors by considering the dependability, representativeness, and structuredness of human errors. Additionally, this paper includes some new challenges over the current prevention-oriented activities; positive utilizations of human errors to training/education, advertisements, fun and entertainments, and nudges.

Keywords: Human error, Human factors engineering, Concept, Definition, Classification, State of the art

1. New Era and Human Errors

최근 우리나라는 산업사회에서 정보사회로 급격하게 변화되어 각종 현안과 과제가 폭증하고 있다. 산업사회에서 해결되었어야 할 생산과 노동의 문제는 물론 정보사회의 소비자 문제와 복지 측면의 과제가 동시에 주어져 있다. 게다가 사회적 참여 증가로 버스 사고나 전투기 추락과 같이 국지적인 문제라도 사회적 현안으로 급격히 비화되기도 한다. 이러한 시대적 요구로 인해 인간공학 분야가 감당해야 할 과제가 몰려들다 보니 실제 활동이 상대적으로 미미한 느낌이 들 지경이다. 21세기는 인간공학의 손길이 더 절실하게 필요한 시대인 것만은 분명하다.

인간공학은 기본적으로 인간의 한계와 특성에서 야기되는 문제를 극복하고 보다 나은 방법으로 체계와 개인 및 사회의 효용을 극대화하려는 기술 분야라고 할 수 있다. 주어진 상

Corresponding Author: Yong Hee Lee. I&C and Human Factors Research Division, Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon, 302-353.
Phones: 042-868-2941, Mobile: 010-5500-7958, E-mail: yhlee@kaeri.re.kr
Copyright@2011 by Ergonomics Society of Korea(pISSN:1229-1684 eISSN:2093-8462). All right reserved.

황에서 인간(작업 종사자 또는 일반)의 행위(performance)에 대한 포착은 인간공학의 출발점이다. 산업혁명기에 작업시간 및 방법(time and motion study)에 대한 연구로 생산성의 혁신을 이루었던 경험은 물론, 세계대전 중 항공기의 랜딩기어 대신 비상탈출 레버를 당긴 사고나, 선반 조작장치의 인체측정학적 배치 부적절로 인한 상해 사고, 인적 오류로 인해 발생된 TMI 및 체르노빌 원전 사고, 챌린저호 폭발사고 등은 인간공학의 발전을 촉발한 예화로 언급된다. 안전(safety) 확보가 인간공학의 주요 과제로 작용했던 것이다.

본 논문에서는 인간공학의 오랜 과제인 안전과 관련하여 인적 오류(human error) 분야의 최근 기술현황을 간략히 정리하였다. 이번 특집호에 게재된 논문을 중심으로 인적 오류의 정의와 개념을 검토하고, 각 기술 분야의 다양한 기술현황과 접근방법을 분류하였다. 또한 인간공학 분야의 본격적인 인적 오류 연구를 촉발하고자 오류의 종속성, 대표성, 구조성 등 새로운 출발점과 적극적인 활용 과제를 제안하였다.

위한 최우선 과제로 인적 오류를 다루고 있지만, 접근 방법이 매우 다양하여 용어와 분류체계로부터 오해할 소지가 많다. 각 분야별 인적 오류의 상대적 특성(Y.H. Lee, 2009) 및 목적, 단계, 주안점 등 다양한 인적 오류 접근방법을 이해하는데 유익한 비교 기준을 정리하면 다음 Table 1과 같다.

Table 1. Review criteria on human error activities

분야	제조/농어업/건설/교통/서비스/공공 등
목적	현상규명/원인파악/대책수립/책임규명 등
시점	사후(posterior)/진행중/사전(predictive)
손실	개인상해/체계손실/사회환경파급
영역	신체활동/감각/인지/의사결정/집단
대상	작업/절차/기기/체계/환경 등
단계	파악/분석/평가/대응/활용
대책	통제/설계/교육/관리
방법	요소/사례/척도/모형/시뮬레이션 등

2. Current Activities on Human Error

2.1 Categories of current activities on human error

대한인간공학회는 인적 오류에 대한 다양한 논의를 지속하고 있다. 학회 창설시 발표된 인적 오류 중심의 신뢰도 분석(M.K. Kim &S.H. Jang, 1982)과, 이후 인지모형 기반의 인적 오류 분석기법(W.C. Yoon, et al., 1994)을 비롯한 다수의 논문이 인적 오류 논의를 포함하고 있다. 또한 인터페이스 설계의 상호작용 인적 오류 분석 기법(Y.H. Lee. et al., 2003), 정량적 신뢰도 평가를 위한 영향요소(PIF: performance influencing factor) 분석(J.H. Kim & W.D. Jung, 2001), 원자력, 농기계, 항공 등 산업분야별 인적 오류 대책(D.H. Lee et al., 2008; Y.H. Lee, 2009; D.H. Kim & J.W. Lee, 2010), 분야별 인적 오류 사고 분석체계 개발(Y.S. Jung, et al., 2007; D.S. Kim, et al., 2010) 등 본격적인 연구개발 사례도 발표되고 있다.

본 특집호에서는 인간공학에 의한 인적 오류 관련 활동이 이루어지고 있는 몇가지 분야에서의 기술현황을 소개하였다. 인적 오류는 개인적 상해나 손실에 그치지 않고 예기치 못할 경로로 파급되어 사업장은 물론 환경이나 사회적인 문제로 발전될 수도 있다. 본 특집호에서도 산업체에서 개인상해 방지를 위한 수행되는 작업장 안전관리로부터 생산 시스템의 유지관리 및 생산 손실 대책을 위한 안전사고 분석, 사회환경적 피해 확산에 대비한 위기 관리 등에 이르기까지 다양한 안전성 확보 노력을 다루고 있다. 대부분 안전성 확보를

인적 오류 활동은 일반적으로 인적 오류를 예방하는데 유효하다고 믿어온 교육훈련, 현장 및 설비 개선, 캠페인, 감독, 주의 및 규제 등을 각 분야별로 적용한 현장활동이 많다. 그러나 일반적인 예방 활동으로는 그 대상이 막연하므로 인적 오류 방지효과에 한계가 있다. 좀더 구체적인 인적 오류 기술은 인간의 실수가 포함된 안전 사고에 대해 사후에 그 원인을 분석하여 대책을 수립하는 기법이다. 많은 경우 인적 오류 분석을 인간의 일반적인 실수 가능성 및 그 내적 원인 규명과 동일한 의미로 생각한다. 오류 현상 및 원인분석에는 인간의 심리적 내부구조를 연구하는 기초연구와 책임 규명이 불가피하다. 하지만 인간의 행위에 영향을 주는 요인이 개인의 심적 내부 문제에 국한되지 않으므로, 다양한 외부 문제를 파악하는 수행영향요소 분석기술이 필요하다. 따라서 원인분석에서도 관측 및 제어 가능한 요소를 중심으로 오류의 발생 구조를 분석하는 것이 예방대책 수립에 더 효과적이므로, 해당 분야의 고유 항목으로 분석기술이 구축된다.

인적 오류 분석에서는 원인분석도 중요하지만, 효과적인 대책을 도출하고 최적의 조치를 선택하는 과정이 더 중요하다. 궁극적인 목표가 원인규명 보다는 대응방안 도출이기 때문이다. 또 인적 오류 연구는 인적 오류 자체를 근본적으로 막는 것 보다는 인적 오류에 의한 사고 또는 사고로 인한 손실 및 손실 가능성을 최소화하려는 것이 우선적인 목적이기 때문이다. 따라서 인적 오류 연구도 위험요소의 감지, 평가, 대응 등 위험관리의 전체 단계에 걸친 활동이 필요하다.

인적 오류에 대한 사전연구는 이미 발생된 사례의 사후대

응만으로는 예방이 불충분하다는 인식에 기반을 둔다. 인적 오류의 가능성을 도출하고, 오류를 유발할 수 있는 요소에 대해 사전에 예방적인 조치를 취하려는 예측적 분석 기술이 주를 이룬다. 무한하게 열린 인적 오류의 가능성에 대해 완전한 대비는 불가능하므로, 오류의 발생 가능성에 대한 정량적 평가가 수반되어야 한다. 정량적 평가에 반드시 절대적인 확률이 필요한 것은 아니며, 제어 가능한 영향요소들을 고려한 상대적인 위험성 평가로 충분한 경우가 많다.

공학적 관점에서 보면 인적 오류 연구는 인간의 오류 특성에 대한 심리학 또는 사회학적 기초연구나 오류 발생 가능성에 대한 객관적 확률 평가가 아니므로, 과학적 관점이나 책임성 관점과는 다르다. 그보다는 해당 분야에서 인적 오류를 방지하기 위해 제어/관리해야 할 요소와 그 방법 도출이 우선적인 연구가 될 것이다. 이는 인적 오류에 대한 일반론적 기법 보다는 해당분야의 특성 및 목적에 따른 고유한 기술 활발한 이유가 된다. 이들이 공통적으로 갖추어야 할 기반으로 인간공학적 관점과 기법이 꼭 필요하다.

2.2 A Brief introduction of the papers within this issue

인적 오류 연구의 기초영역은 상대적으로 인간의 인적 오류 현상 및 관련 근본 특성에 대한 조사 연구라고 할 수 있다. 인적 오류 현상 연구는 의학 또는 심리학의 영역이지만, 그 동안 회피(avoidance)오류 등 몇 가지 논의가 있었고 본 특집호에도 노인의 오류에 대한 연구가 포함되어 있다. 노인의 조작오류 특성에 대한 실험적 연구는 이전에 전산환경에서 작업자의 오류 성향에 대한 연구(K.T. Jung & Y.H. Lee, 2000) 등을 잇는 기초 연구의 좋은 사례다. 또 의사소통 연구의 프레임웍을 제안한 논문은 최근 급격히 부각되는 의사소통 관련 연구의 좋은 기반을 제공한다. 정보기술의 발전으로 새로운 기기/생활/작업 환경이 형성되어 발생하는 인적 오류 현상에 대한 우려와 고령화로 예상되는 시급한 현안을 대비하여, 인간공학 분야에서 다양한 인적 오류 현상에 대한 보다 적극적인 기초 연구가 필요할 것이다.

개별 산업 분야에서의 인적 오류 연구는 불가피하게 각 산업의 특성에 입각한 내용을 보여주고 있다. 인적 오류 사고의 조사분석 체계를 논의한 두 편의 논문은 앞으로 해양 분야에서 인적 오류 활동의 핵심을 가름할 것이다. 해양 분야는 도로, 항공, 철도와 같은 교통 분야이면서도 기술적 규모나 인적 오류에 따른 파급 범위가 커서, 급격한 기술 수요가 예상되기 때문에 중요한 과제로 대두되고 있다. 장기적으로 원자력 및 철도 분야에 뒤이어 고유한 인적 오류 분석체계의 확보를 기대할만하다. 회복성 공학(resilience engineering, Hollnagel) 및 STAMP(Systems-Theoretic Accident Model and Process, Leveson) 등 사고모형(accident model)의 최신동향을 소개한 논문은 인적 오류 분석체계의 미래를 포괄적으로 기대할 수 있게 돕는다.

또한 도로건설, 조선, 반도체, 원자력, 항공 분야의 최근 인적 오류 활동으로 현장 중심의 다양한 예방 활동의 사례를 소개한 논문들이 포함되었다. 해당 분야의 고유한 특성 및 그에 따른 인적 오류 특성에 맞추어 행동기반안전(BBS: behavior-based safety) 프로그램, 인적 오류 대응 캠페인 포스터/카드/수첩, 안전관리 절차 및 지침 등을 개발하여 적용하거나, 작업장 및 설비 개선을 필두로 의사소통 및 팀워크 개선, 직무 애로요인 및 절차서 개선 등 인적 오류 예방을 위한 다양한 조치의 선별하고 실행한 경험을 제시하고 있다. 이들은 주로 인적 오류 상해가 빈발하거나 고신뢰도 체계라는 해당 분야의 특성이 반영되어 있어서 다른 분야에 그대로 적용할 수는 없지만, 인적 오류 연구의 출발점에서 유익한 현장기법 또는 비교대상이 된다.

반면에 제조업 일반에서 제기된 인적 오류 관련 현안을 재검토하고, 통합적인 분석체계를 제기한 논문도 포함되어 있다. 제조업 분야에서의 통합적인 인적 오류 분석체계(K.S. Lee et al., 2008)를 시도한 것은 인적 오류 대응이 최근 산업 분야 전반에 걸친 공통적인 요구사항으로 부각되었음을 보여주는 것이다. 이는 제품안전과 관련된 인적 오류 현안 및 현황을 종합한 논문에서도 유사한 의미를 보인다. 소비자의 권익에 대한 인식 증가와 제조물책임(PL)법의 시행에도 불구하고, 21세기에도 다양한 제품의 인적 오류 연구가 충분하지 못한 것은 인간공학의 큰 과제가 된다.

한편 서비스 분야의 인적 오류를 위한 기본 정보를 정리한 논문은 인적 오류 관련 연구 및 활동의 미래와 밀접한 관련이 있다. 한국은 경영, 식객, 의료, 물류, 통신 등 다양한 서비스 산업이 폭발적으로 증가하고 있으므로, 서비스 제공에서 인적 오류 및 그 의외성과 파급 영향을 효과적으로 파악/대응하는 구체적인 연구 개발이 시급하다.

또한 인간신뢰도분석(HRA: human reliability analysis)로 불리는 인적 오류의 확률적 평가 기법과 국제표준에 담긴 정성적 기술기준도 ISO의 지침을 한가지 예로 소개하였다. 인간신뢰도분석은 당장 실무에 적용되는 기법으로는 1960년대에 개발된 THERP(Technique for Human Error Rate Prediction)에 머물고 있으나, 인지적 요소를 고려한 새로운 기법이 많이 시도되고 있다. 인적 오류 확률의 절대적인 크기보다는 전체 시스템의 안전성과 관련된 수행영향요소를 설계 및 관리하는 효과가 중요하므로, 정성적 기준과의 연계가 필요하다.

원전이나 해양사고와 같이 인적 오류는 일단 발생하면 해당 분야를 뿌리채 흔드는 재난적(catastrophic) 결말을 초래할 수 있으므로, 잘 준비된 대응기술이 필요하다. 선진국에서는 재난이나 경영 분야의 인적 오류 연구가 활발한데,

파급 범위만큼이나 관련된 요인도 방대하기 때문에 융복합형 기술이 불가피하다. 단순한 사후 원인 분석 및 전통적인 예방 조치가 아니라, 전략적인 조사분석(investigation)기법 및 특화된 위험요소 사전 감지(human error hazard identification)기법 등 응용 분야에 맞도록 새롭게 정립하는 노력이 지속적이다. 또한 당장 벌어진 인적 오류를 차단(blocking), 완화(mitigation), 회피(avoidance), 변환(transformation)하는 상황적 대응기술도 시급하다.

3. A Brief Review on the Basic Issues of Current Human Error Studies

3.1 Concepts and definitions of human errors

인적 오류에 보다 적극적인 관심을 가지고 선행연구 사례와 문헌을 검토해본 사람들은 몇 가지 공통적인 의문에 빠지게 된다. 우선 인적 오류의 정의가 다양한데 애로를 겪는다. 본 특집에서도 (인간)과오, 과실, 착각, (인적)실수, 실책 등 인적 오류를 나타내는 다양한 용어를 쉽게 발견할 수 있다. 사고의 주요 원인 중 하나로 분류되는 인적 오류가 있는 반면, 인적 오류를 야기한 세부 원인요소를 인적 오류의 분류체계라고 제시하는 연구들도 있다. 작업자 관련 문제를 인적 오류란 말로 뭉뚱그리거나, 특정한 원인이 아니라 새로운 사건으로 다루는 경우도 있다. 인적 오류가 단순히 특정한 단위 인간행위의 실패가 아니라 일련의 과정에 의해 표현되는 사건이라는 통합적 관점도 소개되고 있다. 그런 의미라면 광의의 인적 오류는 개인의 실수나 그로 인한 실패가 아니라 어떤 바람직하지 않은 결과(손실 또는 손실 가능성)를 포함하고 있는 모든 사건을 인간공학적 시각에서 바라본 것으로 확대해야 할 것이다.

둘째로 인적 오류에 관한 통계자료와 내용이 서로 상충되는 경우가 많다. 사고의 원인 중 인적 오류의 비중은 매우 다양하게 보고된다. 전체 신뢰성이 중요한 분야일수록 40~95% 이상 높은 비중을 차지하고 있다고 보고하며 인적 오류의 중요성을 강조하고 있다. 반면에 한 산업체의 자체통계에서는 고작 10% 남짓으로 평가하여, 정부기관의 25%나 연구 분야에서 제시한 35% 자료와 당황스러운 수준의 격차를 보인 경우도 있다. 고신뢰도 산업일지라도 책임이 강조될 경우에는 인적 오류의 범위를 극도로 좁힌 것이다.

셋째로 인적 오류의 개념과 정의가 이렇게 불확실한 상황에서 인적 오류에 대한 기술적 소통에 문제가 발생한다. 인적 오류의 명확한 현황 포착이나 예방 조치 강구는 막론하고 당장에 필요한 책임성 규명이나 대응책을 합의하는 일에도 자주 혼란을 겪는다. 대부분의 인적 오류는 개인의 책임과 직결되는 것으로 생각되기 때문에 인간공학과 같은 기술적인 접근을 가로막는 중요한 장벽으로 작용한다. 항공, 화공, 원자력 등 고신뢰도를 추구하는 분야에서는 인적 오류의 중요한 정보 가치를 잃지 않기 위해 면책을 전제로 적극적 발굴 제도를 운영하기도 한다.

또 인적 오류 활동에서 원인 분석 등의 과정에서 방대한 규모의 학제적 노력에도 불구하고 도출되는 대책은 '주의철저', '감독보강', '교육훈련' 등 뻔한 항목에 머무는 것도 심각한 문제점이다. 더구나 결과적으로 도출된 대책이라도 실행으로 기대되는 효과의 실체가 불확실한 상황이다. 그래서 인적 오류는 '영원한 게릴라 전쟁인가!(*Fighting a Guerilla War?*, 1995 Reason)'이라는 탄식이 나오기도 했다.

3.2 Classifications of human errors and their causes

인적 오류를 다루는 기술에는 반드시 일정한 분류체계가 필요하지만 적절한 분류체계를 확보하는 일은 그리 녹록하지 않다. 본 특집에서도 인적 오류 및 그 원인요소에 대한 분류체계를 다룬 사례가 많다. 하지만 인적 오류의 접근방법이 얼마나 다양할 수 있는가에 대해서는 인지공학자인 J. Rasmussen이 5가지 이상의 서로 다른 관점(perspective)을 비교함으로써 잘 설명하고 있다(Table 2). Reason, Wickens, Kletz 등은 각자의 전문성에 입각한 저서를 출간하였다.

Table 2. Various perspectives on human error by Rasmussen

일반 상식적 관점 (Commonsense Perspective)	인적 오류 사건의 다양한 이해 및 공감
과학자적 관점 (Scientist's Perspective)	인적 오류 관련 인간 특성의 객관적 규명
설계자적 관점 (Engineer's Perspective)	인적 오류 대응 설계 또는 개선안의 도출
처방자적 관점 (Therapist's Perspective)	인적 오류 경험의 재발 방지 및 인적 수행도 향상
검사의 관점 (Attorney's Perspective)	문제점 및 손실의 책임 규명

심리학분야에서는 인간의 기본적인 한계특성으로서 인적 오류 특성 및 사례 연구가 활발하다. Wickens는 공학적 응용을 위한 주요 심리적 오류 현상을 정리하였고(Wickens, 1992), Kahneman 등의 제한적 합리성(bounded rationality)에 따른 의사결정 오류 연구는 사회 및 경제 분야에 지대한 영향을 미쳤다. Reason은 심리적 의도(intention)라는 기준만으로도 서너 가지 이상의 인지심리학적 유형(Table 3)을 구분할 수 있음을 보여주었다. 하지만 실용적

연구를 위해서 우선 인적 오류의 형태(type)와 원인(cause)을 구별하여 분석한 phenotype/genotype 분류(Hollnagel, 2002)나, 인지적 과정을 구분하는 사다리 모형(step-ladder model, Rasmussen)을 제안하거나, 응용분야에 활용한 경우도 있다(Y.S. Kim, et al., 1994). Rasmussen과 같이 학습/의식 수준에 따라 기술/규칙/지식(SRK) 등 인지단계를 구분하여 다양한 오류 현상을 분류하거나, 산업 현장에서는 즉발(active)/지발(latent) 오류로 단순하게 양분하기도 한다(Zeebrugge 1987, INPO 2002).

Table 3. Types of human errors by reason

의도여부	오류 유형	특성과 현상의 예
비의도 (Unintentional) 오류	Slip (random failure)	Random/intrusive phenomena (Omission, Reversal, Intrusion, Disordering, Mistiming, etc.) due to limited perceptual resources
	Lapse (attention/ memory failure)	Omitting of planned actions Losing place in action sequence Forgetting intended actions
의도 (Intentional) 오류	Mistake (intention failure)	Poor/Misapplication of intention Application of a bad procedure, Poor and false decision making Overconfidence/
	Violations (intended failures)	Deliberate Deviation/Avoidance from the pre-defined limits – Routine/Optimizing/Necessary or Situational violation
위해성 오류	Sabotage	Attacking/cheating, Security issues

인적 오류 분류 및 근본원인/영향요소의 분석체계에 대해서는 이미 원자력, 제품, 제조업, 철도 분야의 다수 논의가 있었다(Y.S. Kim, et al., 1994; J.H. Kim & W.D. Jung, 2001; Y.H. Lee, et al., 2003, 2006; K.S. Lee, et al., 2008; D.S. Kim, et al., 2010). 또한 KOSHA code G-02/P-11 등에는 산업안전분야를 위한 인적 오류 분류 및 유발요소의 분류체계를 제시하고 있다(KOSHA, 2002). IEC/IEEE에서는 인적 오류의 정량적 평가 방법의 표준(IEEE-std-1082 등)을 제시하였으며, ISO/IEC에서는 인적 오류에 대비하기 위한 다수의 인간공학 지침(ISO-9241 시리즈 등)을 제공하고 있다(본 특집호에서 이를 간략히 소개함).

인적 오류는 단순히 인간공학의 주제만은 아니며 심리학이나 안전공학은 물론 교육학이나 경영학에 이르기까지 거의 모든 학문/기술 분야와 관련되기 때문에, 인적 오류와 그 영향요소들의 통일된 분류체계는 물론 기본적인 정의와 용어를 정하는 것도 단순하지 않다. 인적 오류에 대한 인지심리학적으로 불변할 정의나 모든 것을 망라한 종합 분류체계를 찾기보다는, 각 응용 분야와 사례에 맞는 효과적인 분류체계를 확보하는 것이 인간공학의 과제다. 본 특집호에서도 해양, 조선, 건설, 서비스 등 각 분야에서 인적 오류를 다루는 기술적 출발점으로 해당 분야의 목적에 맞도록 정의된 관점에 따라 구체적 용어 및 분류체계를 구축하는 예를 볼 수 있다.

다만 인간공학 분야에서 인적 오류를 효과적으로 다루기 위해 몇 가지 기본 사항을 점검할 필요가 있다. 우선 인간공학에는 인간을 대상(object)이 아니라 기준(criteria)으로 삼는다는 기본 원칙이 있다. 따라서 인적 오류 연구에서도 인간의 특성과 한계는 공학적 조작의 대상이 아니라 기준이며, 다른 인적요소(human factors)를 그에 따라 평가하고 맞추는 과정(*Fitting the Task/System to the Human*)을 기본으로 한다는 점이 중요하다(안전공학의 '대책선정 원칙' 참조). 인적 오류 기술은 불안전 행위와 같은 인간의 문제를 과학적 사실로 규명하는데 그치지 않고, 인적 오류를 유발하거나 영향을 줄 수 있는 불안전 상태의 세부요소들을 근본원인(root cause)으로 규명하여 공학적 조치를 도출하는 것이다. 물론 이 과정에서 비용-효과기준을 통해 개인의 편익이 아닌 전체 시스템의 효용을 달성하는 공학적 합리성을 포함한다.

둘째로 인적 오류를 다루는 척도가 혼동되지 않아야 한다. 인간공학에서 인간의 행위는 다양한 수행도(performance)로 포착하지만, 수행도가 항상 안전을 대변하는 것은 아니다. 인적 오류(human error)는 수행도의 일반적 척도 중에서 면밀하게 구별되어 선택되어야 한다. 수행도는 보통 평균적 결과(average case)로 파악될 수 있는데 비해, 인적 오류는 최악의 결과(worst case)로 파악되어야 정확하기 때문이다. 척도의 구체적인 내용은 일반적인 정의가 아니라 해당 분야의 관심과 요건에 따라 정의되어야 한다.

셋째로 이론에 따른 고정된 정의 및 분류체계를 고집하지 말고, 꾸준히 보강하는 과정이 필요하다. 해당 분야의 기술적 현안과 관심을 충분히 반영하기 위해 고려되는 인적 오류 및 영향요소의 범위를 끊임없이 조정해야 한다. 기술의 발전은 물론 가치관의 변화로 인적 오류로 다루어야 할 범위가 끊임없이 변화하고 있기 때문이다. 또한 조사 분석 및 대응을 위한 핵심적인 요소의 분류체계는 실무적인 확인을 통해 항목의 세분 또는 통합이 지속되어야 한다. 의사소통에 적절한 수준의 과정적 정의를 확보하고 기술적 효율을 유지하는 지속적인 노력이 필요하다.

효과적인 인적 오류의 분류/분석을 위해 이러한 기본 사항을 점검하고, 각 분야에서의 경험을 나누며 결과를 종합하여 시너지 효과를 얻는데 융합 기술로서의 인간공학의 역할이 기대된다.

4. Topics on Human Error Study

4.1 Common bases for effective human error studies

고신뢰도 산업을 중심으로 인적 오류 연구에서 경험된 여러 가지 시행착오가 대조적으로 보고된 바 있다(Y.H. Lee, 2006, 2009). 인간공학에서 제공하는 이론적인 일반론과 응용 분야에서 필요한 각론의 차이를 쉽게 극복하지 못하여 발생한 경우가 많다. 하지만 선행 경험을 기반으로 후속 활동의 시행착오를 줄이기 위해 다음과 같은 공통적인 속성을 정리하여, 인적 오류 논의의 출발점으로 제시하였다.

4.1.1 종속성(Dependability)

인적 오류에 대한 정보나 분석자료는 반드시 주어진 상황과 대상 시스템의 거동에 대한 정보와 결합되어 있을 경우에만 의미가 있다. 인적 오류의 원인은 각각 독립적으로 볼 때에는 인적 오류로서 이해하기 곤란한 경우가 많기 때문이다. 특히 복잡한 체계에서 인간의 행위는 행위 자체만으로는 오류로 판단하기 어렵다. 인적 오류는 행위의 특성이 아니라, 주어진 체계와 상황 특성과의 결합에 의하여 결정된다. 개별적인 요인만으로는 지극히 정상적인 경우에라도 특정한 상관관계에서 다양한 오류 현상을 드러낼 수 있으므로, 보다 폭넓고 종합적인 연구가 가능하다. 개별 원인에 대한 연구는 각 기술 분야의 학문적인 연구로는 좋으나, 인적 오류의 발생을 설명하고 방지대책을 수립하는 것과는 약간의 거리가 있다. 특히 체계 전체로 보아 어떠한 부정적 영향을 발생시켰거나 그 가능성을 가지고 있어서 이를 방지하려는 목적으로 인적 오류를 예방하려 한다면, 이미 발생된 인적 오류 사고의 내부구조(accident mechanism)에 대한 정보가 포함되어야 한다.

4.1.2 잠재 대표성(Representative-ness of latency)

사고와 그 파급을 빙산(iceberg)이나 피라미드에 비유하는 것은 안전(safety)의 오랜 전통이며, 이는 인적 오류에도 동일하게 적용된다. 어떤 인적 오류가 발생하면 유사한 오류 또는 그 가능성들은 빙산의 하부처럼 커다랗게 숨겨져 있는데, 더욱이 그 잠재성 비율은 해당 시스템의 복잡성에 비례하여 증가한다. 즉, 고신뢰도의 복잡한 시스템일수록 인적 오류의 잠재 가능성이 크며, 알려지지 않는 오류가 많이 잠재되어 있으므로, 하나의 드러난 오류가 드러나지 않은 수많은 오류를 대표하도록 다루어야 한다는 것이다. 이는 아차사례를 포함하여 하나의 인적 오류를 다룰 때, 해당 사례로 대표할 수 있는 유사한 인적 오류의 다양한 가능 경로와 조합을 고려하여 인적 오류의 정보적 가치를 극대화해야 함을 의미한다.

특히 인적 오류 활동의 목적을 분명하게 정립하여 잠재 대표성을 다루는데 상당한 주의와 노력이 필요하다. 징벌적 목적과 엄격하게 구분하지 않으면, 당장에 드러난 표면적 문제만을 다루어 잠재된 다른 오류를 효과적으로 대응할 수 없다.

4.1.3 연쇄 구조성(Structured-ness)

종속성에서 지적하였듯이 인적 오류는 전체 체계의 거동을 기반으로 파악되어야 한다. 사고는 배경요인으로부터 사고 발생을 야기하는 환경 및 체계의 불안전 상태, 불안전 행위, 불안전 행위로 인한 체계의 반응 및 손실 등이 시차를 두고 동적으로 나타나는 것이므로, 반드시 체계와 관련된 요인들의 단계구조로 파악되어야 한다. 이러한 연쇄 단계를 도미노(domino)에 비유하여 도미노 이론이라고 부르는데, 모든 사고는 [배경환경->인적 결함->불안전 행위/불안전 상태->사고->상해/피해] 등 다섯 가지 단계를 거쳐서 발생한다는 것이다. 단계 자체보다는 분석방법 및 과정에서 다음과 같은 공통적 주의점을 얻을 수 있다. 우선 원인의 제거가 항상 최선의 대책이 아닐 수 있다. 예방 측면에서 볼 때, 원인의 비중이나 심각도 보다는 달성되는 안전에의 기여도나 비용-효과(cost-benefit) 측면에서 가장 개선 효과가 큰 요소를 선택해야 한다. 또 연쇄 구조성에는 어느 하나라도 사고 방지를 위하여 미리 철저하게 대비되면 전체 연쇄작용의 고리를 끊어 사고의 최종적인 결과를 방지할 수 있다는 우선성 대책의 원칙이 성립한다. 반대로 결과적으로 어떤 손실이 발생했어도 해당 사건과 관련된 모든 요소들에 문제가 있는 것은 아니라는 점도 유의해야 한다. 연쇄의 고리에서는 단순히 하나의 요소가 적절하다고 연쇄과정이 방지되지 않으며, 결말이 발생하지 않았다고 관련된 모든 요소들인 건전한 것은 아니라는 것이다.

4.2 New challenges of human error studies

인적 오류 연구는 안전을 확보를 위해 우려되는 문제점에 대비하는 목적이 우선되므로, 문제점 일변도의 부정적인 관점 및 기법이 불가피했다. 하지만 최근 인적 오류를 긍정적으로 활용하는 새로운 기술 분야가 많이 출현하고 있다.

우선 원인분석이나 사전 예방 및 사후 대응 기법과 같은 전통적인 기술을 최근의 기술적 특성에 맞도록 재가공하는 노력이 시급하다. 뿐만 아니라, 당장에 전개되는 인적 오류 및 그 파급에 대한 차단(blocking), 완화(mitigation), 변환(transformation) 회피(avoidance) 등 동적인 상황대응기술이 시급하다.

둘째로 교육훈련 분야에서의 인적 오류 활용은 이미 상당히 오래된 응용 분야에 속한다. 인적 오류는 체계 및 작업의

허용한계를 깨닫게 하기 때문에 업무를 파악하고 반응을 익히는데 효과적이다. 원자력을 필두로 항공, 철도 등 고신뢰도 산업에서는 인적 오류 사례를 교육훈련에 적극적으로 활용하고 있다. 특히 원자력 분야에서는 사고 및 고장 상황에 대한 면밀한 시뮬레이션 및 모의 상황에서의 작업훈련을 지속적으로 활용해왔다. 최근에는 주요 인적 오류 사례를 웹(Web) 환경에서 간접적으로 경험해 보거나 재확인할 수 있는 CBT(computer-based training) 프로그램을 개발하고 있다. 해외에서는 인적 오류 사례의 상세한 정보를 제공하는 데이터베이스나 체험관을 운영하는 사례도 있다.

셋째로 인적 오류는 광고 및 홍보를 위한 기법으로 원용되고 있다. 광고 및 홍보가 요구하는 의외성 및 주목도를 만족하는데, 인적 오류가 다른 무엇보다 큰 효과를 발휘하기 때문이다. 인간의 제한적 합리성(bounded rationality)를 고려하여, 고의로 부조리하게 조작된 내용을 통해 적극적으로 인적 오류를 경험함으로 인식을 높여주는 기법이다.

마지막으로 교육훈련 및 광고 홍보에서 경험되는 인적 오류의 효과 중에서 넛지(nudge) 및 재미(fun) 요소를 선별적으로 활용하는 분야가 있다. 인적 오류를 조직의 변화를 위한 자극수단으로 활용하거나, 오락 및 연예의 도구로 활용하도록 적극적으로 개발할 수 있을 것이다.

인적 오류의 긍정적인 활용 기술은 경영 및 서비스 분야와 밀접한 관계 및 요구가 활발한데, 21세기를 향한 인간공학의 새로운 활용영역을 열어주는 기회로 생각된다.

5. Conclusion

본 논문에서는 본 특집호에 게재된 논문을 중심으로 인적 오류 분야의 최근 기술현황을 간략히 정리하였다. 인적 오류의 개념 및 분류체계 등을 비교 검토하고, 각 기술 분야의 다양한 기술현황과 접근방법을 그 주제에 따라 분류 소개하였다. 또한 인간공학 분야에서 본격적인 인적 오류 연구를 촉발하고자 인적 오류의 종속성, 대표성, 구조성 등 기본 개념과 교육훈련, 홍보, 재미 등 새로운 응용 분야를 제시하였다. 인간공학 분야에서 인적 오류 연구가 활발하게 전개되어 21세기형 융합기술로 발전하는데 기여할 수 있기를 기대한다.

References

Hollnagel, E., Woods, D., Leveson, N. (Ed), *Resilience Engineering: Concepts and Precepts*, Ashgate, 2006.

INPO, *Human Performance Fundamentals Course*, 2002.

Jung, K. T. and Lee, Y. H., A Basic Study on the Error Pronesss in Computerized Work Environment, *Journal of ESK*, 19(1), 1-9, 2000.

Kim, D. S. Baek, D. H. and Yoon, W. C., A Proposition of Accident Causation Model for Analysis of Human Error Accidents in Railway Operations, *Journal of ESK*, 29(2) 241-248, 2010

Kim, J. H. and Jung, W. D., Selection of Influencing Factors for HRA of Accident Management in NPPs, *Journal of ESK*, 20(2), 1-28, 2001.

Kim, M. K. and Jang, S. H. Reliability of the Redundant System with dependent human error, *Journal of ESK*, 1(2), 11-15, 1982.

Kim, Y. S., Yoon, W. C. and Lee, Y. H., Human Error Analysis in NPPs Based on a Cognitive Model, *Journal of ESK*, 13(2), 33-42, 1994.

Kletz, T. A., *Engineer's View of Human Error*, 3rd Ed., IChemE, 2001.

KOHSA, Guideline for Human Error Analysis, KOSHA Code P-11, 2007.

Lee, D. H., et al., Short-Term HFE Measures for Minimizing Human Error in Nuclear Power Facilities, *Journal of ESK*, 25(1), pp. 91-98, 2008.

Lee, J. W., et al., A Proposition of Human Factors Approaches to Reduce Human Errors in NPPs, *Proc. 8th-IEEE&13rd-HPRCT Conf.*, 2007.

Lee, K. S., et al., Development of a Comprehensive Model for Human Error Prevention in Industrial Fields, *Journal of ESK*, 27(1), 37-43, 2008.

Lee, Y. H., Jang, T. I. and Lim, H. K., A Modification of Human Error Analysis Technique for Designing Man-Machine Interface in NPPs, *Journal of ESK*, 22(1), 31-42, 2003.

Lee, Y. H., A Discussion for a More Effective Approach to the Human Error Studies in Industries. *Proc. ESK 2006 Spring Conf.*, 2006.

Lee, Y. H., Jang, T. I. and Lee, S. G., A System Engineer's Perspective on Human Errors For a more Effective Management of Human Factors in Nuclear Power Plants, *Proc. KNS 2007 Fall Conf.*, 2007.

Lee, Y. H., et al., *Human Error Cases in Nuclear Power Plants*: 2002~2007(in Korean), KAERI, 2008.

Lee, Y. H., A Suggestion of Human Error Case Studies to the Agricultural Accidents. *Proc. ESK 2009 Spring Conf.*, 2009.

Leveson, N. G., *System Safety Engineering: Back to the Future*, http://sunnyday.mit.edu/book2.html, 2010.

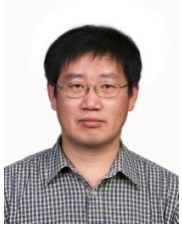
Rasmussen, J., Concept of Human Error: Is It Useful for the Design of Safe Systems?, *Safety Science Monitor*, 3(1), 1999.

Rasmussen, J., The role of error in organizing behaviour, *Qual. Saf. Health Care*; 12, 377-383, 2003.

Reason, J., *Managing the Risks of Organizational Accidents*, Aldershot, Ashgate, 1997.

Wickens, C. D., *Engineering Psychology and Human Performance,* 2nd Ed. HarperCollins Pub., 1992.

Author listings



Yong Hee Lee: yhlee@kaeri.re.kr

Highest degree: MS., Department of Industrial Engineering, Seoul National University

Position title: Head/Principal Researcher, I&C and Human Factors Division, Korea Atomic Energy Research Institute(KAERI)

Areas of interest: Human-Machine Interface, Human Error, Cognitive System Engineering

Date Received : 2011-02-08

Date Revised : 2011-02-09

Date Accepted : 2011-02-09